

Méthode d'évaluation de l'intégration des systèmes agriculture-élevage :

Cas d'un modèle de simulation d'exploitations mixtes

Stéphanie Alvarez
Doctorante du CIRAD

Atelier de travail sur l'Intégration Agriculture Elevage

Antsirabe, 20 et 21 juin 2011

Contexte



fermes laitières en intégration agriculture-élevage deux piliers économiques et culturels : **riz et vaches laitières**

- petites exploitations familiales
- une dynamique laitière forte
- plusieurs cultures agricoles par an (saisons sèche et humide)
- agriculture avec peu d'intrants minéraux de l'extérieur :
 - importance des fumures organiques dans la fertilité des sols
- (presque) toute la biomasse disponible est utilisée par les animaux :
 - alimentation et litière

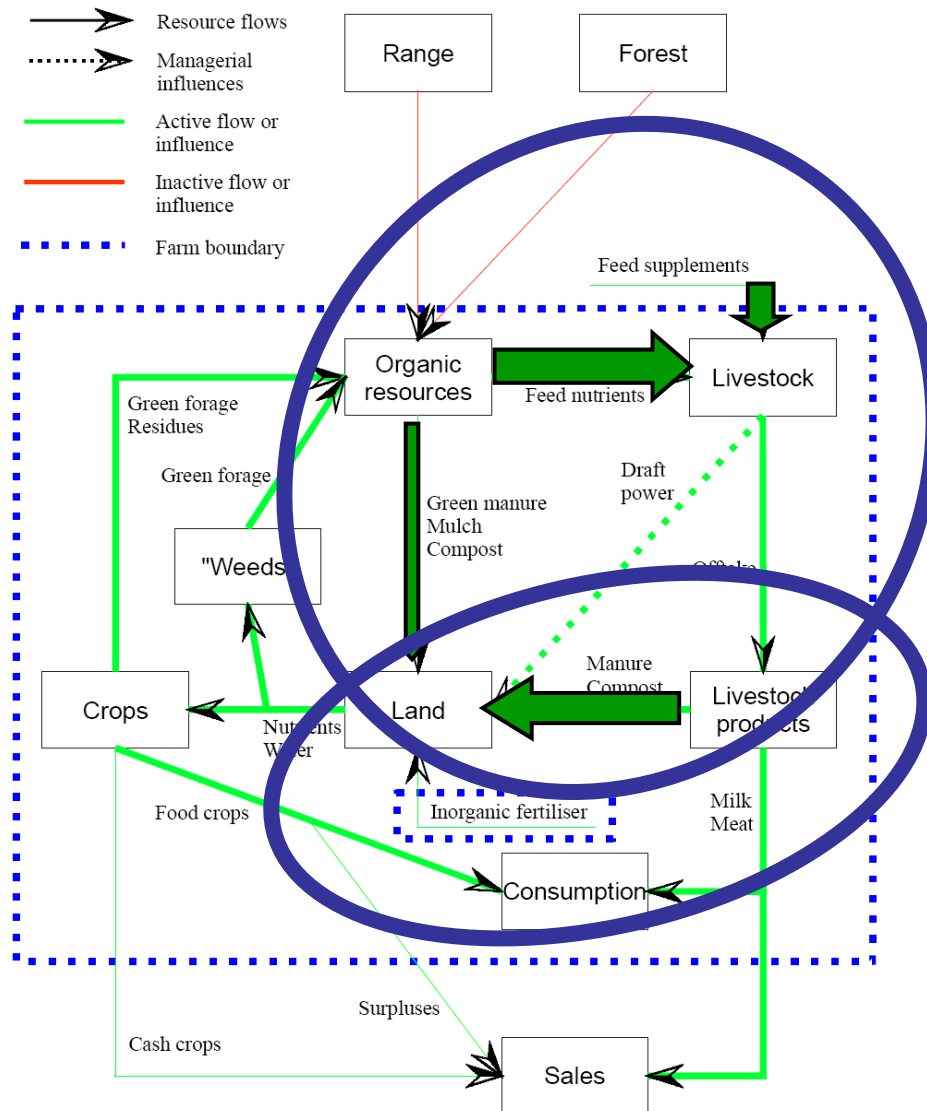
→ système complexe avec une pression élevée sur les ressources

Contexte



Problèmes de répartition de la biomasse

entre le sol et l'élevage : toute la biomasse est exportée pour l'élevage



... fertilité des sols soutenue par le fumier

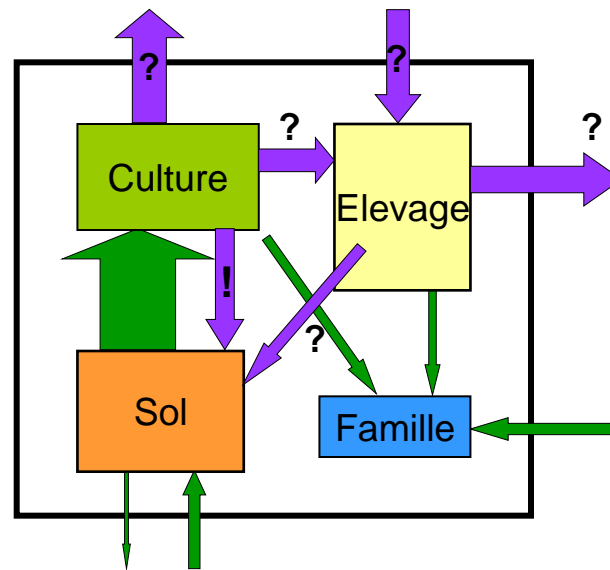
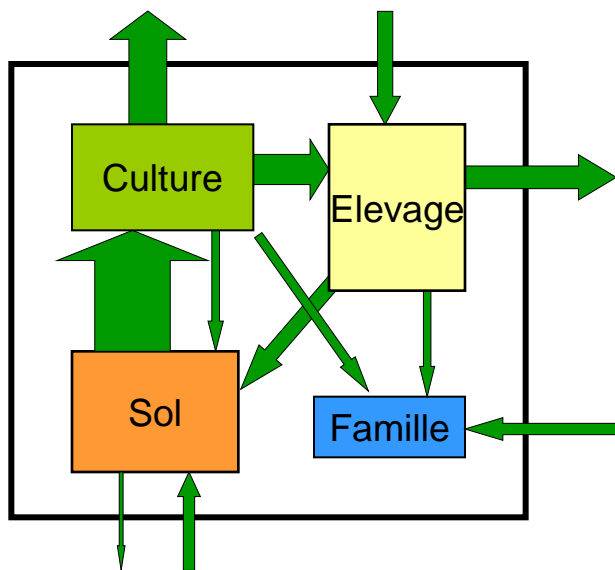


actuellement l'élevage est le seul (ou presque) moyen utilisé pour maintenir la fertilité des sols

Objectif



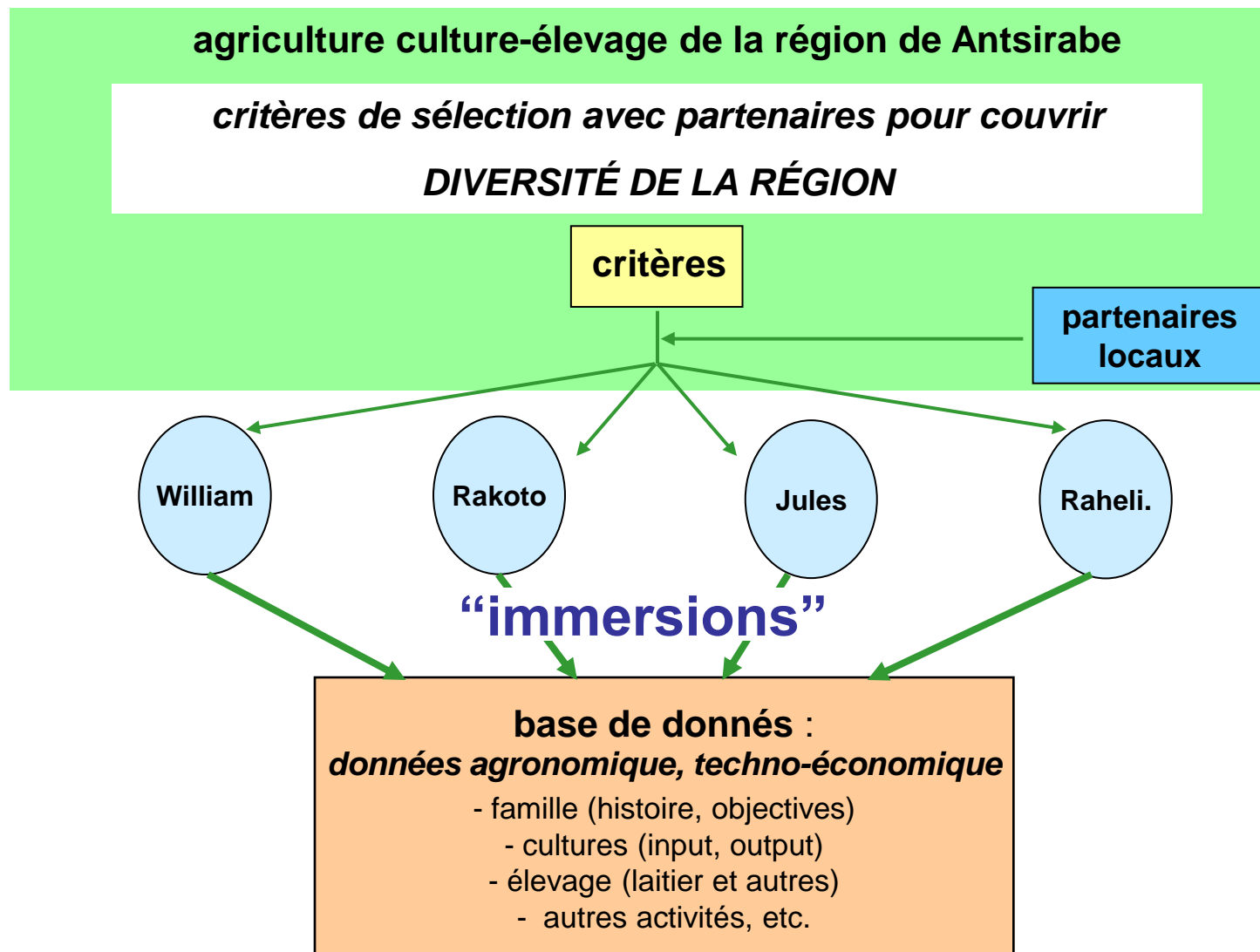
évaluer l'impact des changements dans la répartition de la biomasse sur les indicateurs de production et de l'environnement



Méthodologie



«**immersion**» : comprendre comment la ferme fonctionne et initier une base de données



méthode

« matériel »

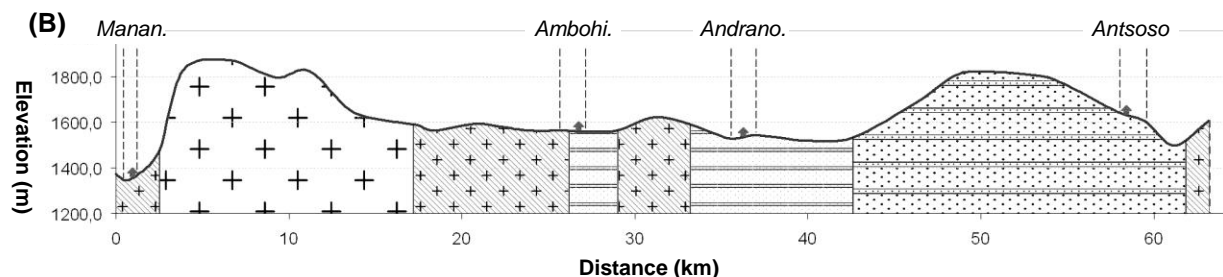
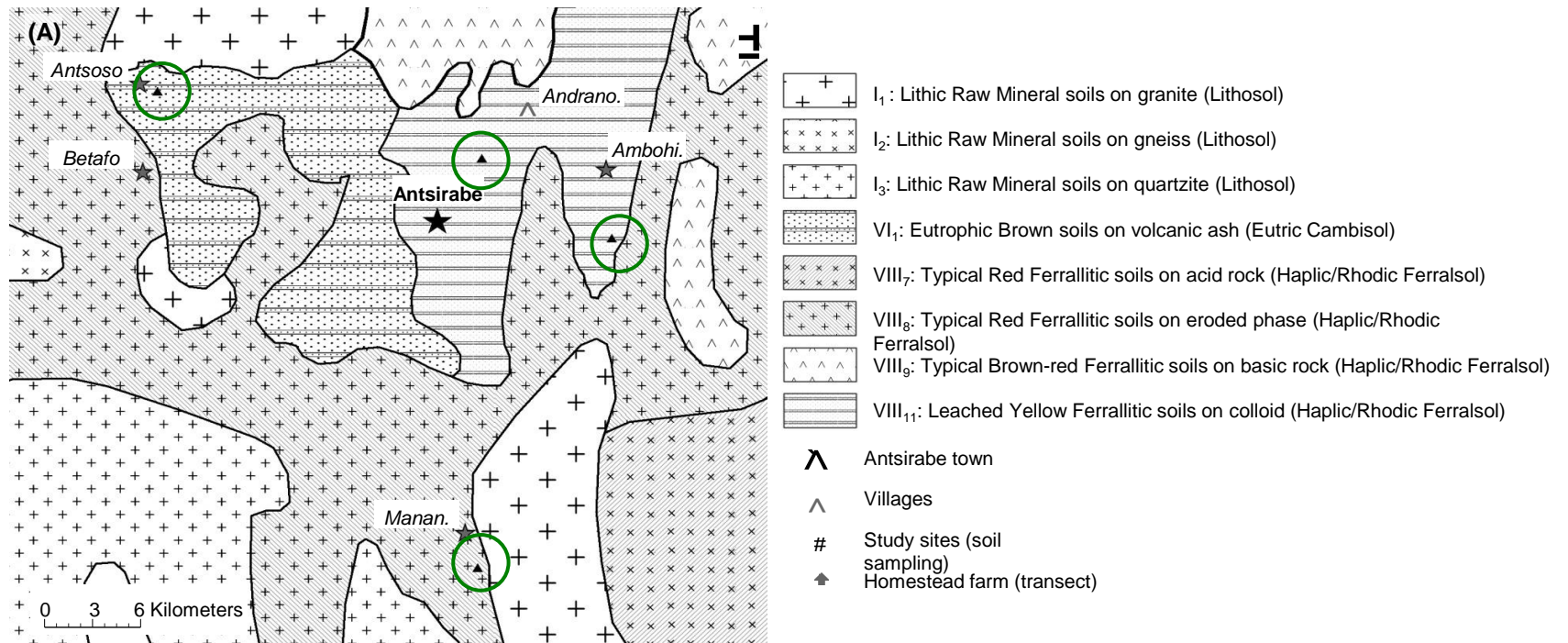
résultats

Méthodologie



carte des sols (A) et transect (B) de la zone d'étude

adapté de la carte des sols de Madagascar de Riquier (1968) avec le système de classification français (CPCS, 1967) et le correspondant de classification FAO-Unesco



Méthodologie



agriculture culture-élevage de la région de Antsirabe

critères

partenaires
locaux

William

Rakoto

Jules

Raheli.

base de
donnés

Pour choisir les simplifications

conceptualisation
du modèle

Pour choisir les outils informatiques

outil = modèle

- ensemble de la ferme
- dynamique
- «stock» et flux

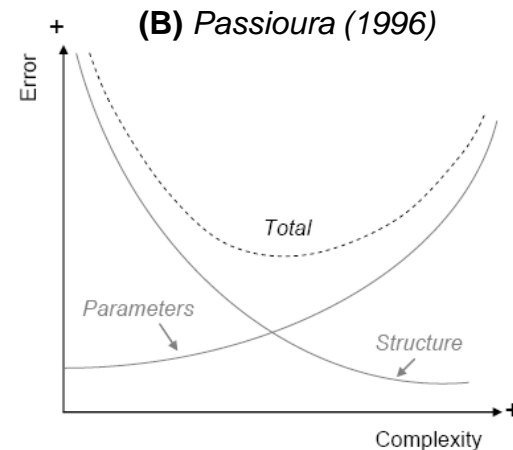
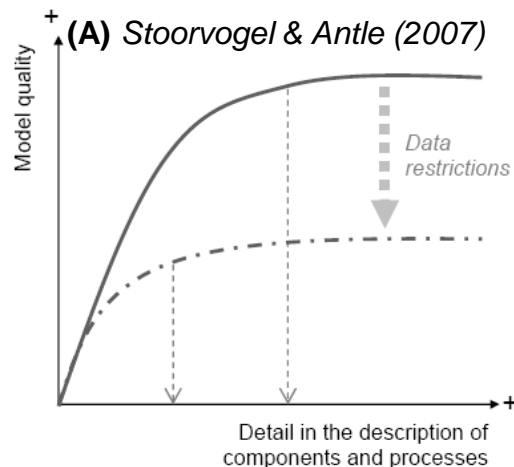
Analyse SPIR :
fourrage
complément
fèces
fumier
sols

Méthodologie



l'outil : modèle de simulation de l'ensemble de la ferme
(avec Vensim®)

→ modèle global : **modèle GAMEDE** (*Vayssières et al., 2009*)

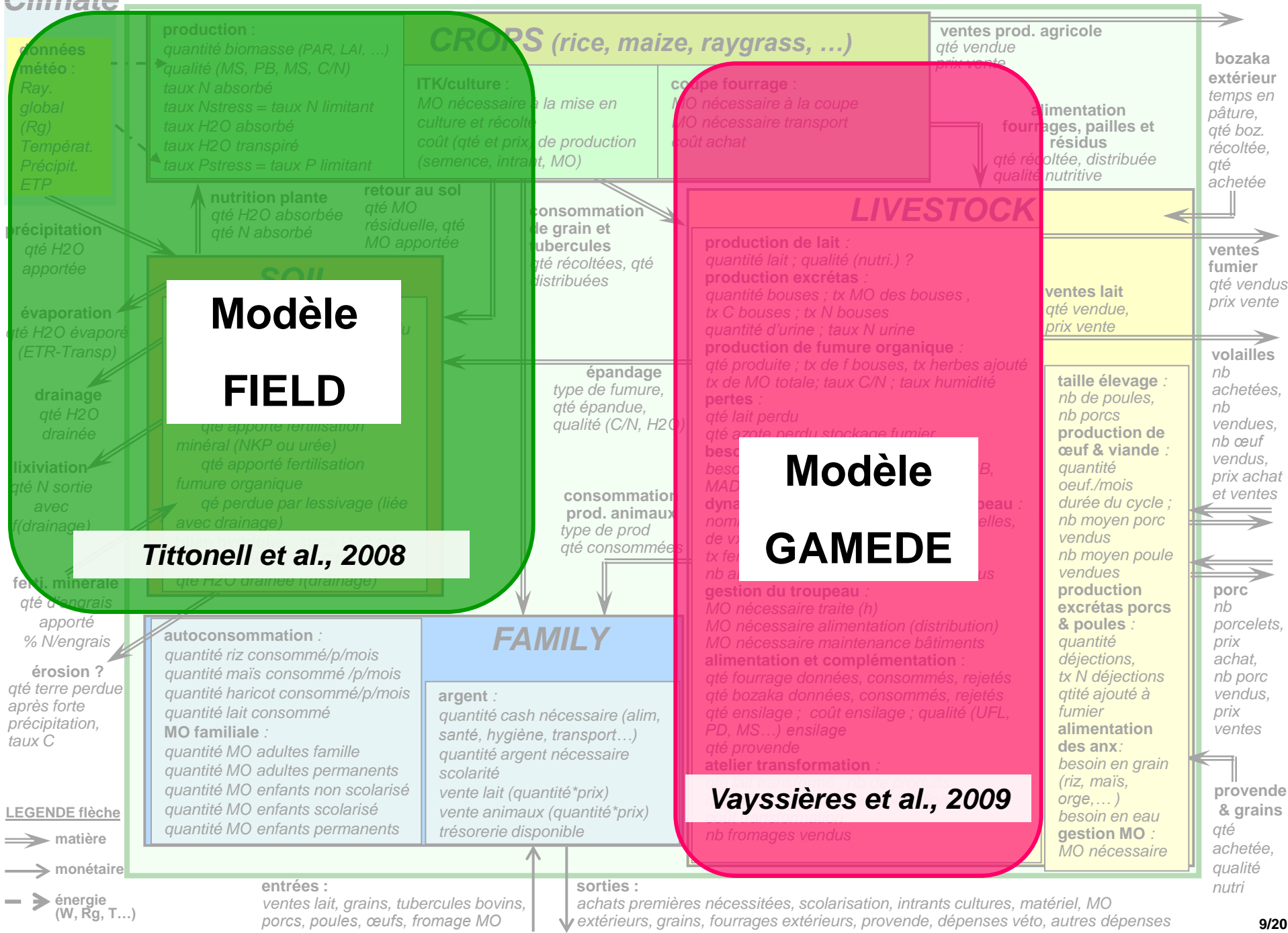


Tittonell P., PhD Thesis (2008)

→ pour adapter et simplifier au contexte des fermes mixtes malgaches

→ pour compléter les sous-systèmes sols et cultures :

modèle FIELD (*Tittonell et al., 2008*)



acquisitions de données
pour paramétrer le modèle
Gamede



quel est le fonctionnement des
exploitations et en particulier atelier
animal ?



immersions dans les exploitations et suivis
(dont stages Constance, Batiste, Lova x 2)

- caractérisation exploitations (surfaces, activités,...)
- estimation des productions (lait, fromage, cultures,...)
- détermination valeurs nutritives fourrages
- caractérisation quantité et qualité des fumiers (flux azote)

**Modèle
GAMEDE**

Vayssières et al., 2009

Modèle FIELD

Tittonell et al., 2008



acquisitions de données pour
paramétrer le modèle sol



quelle est la variabilité de la fertilité du sol ?



échantillons de sol au niveau des parcelles

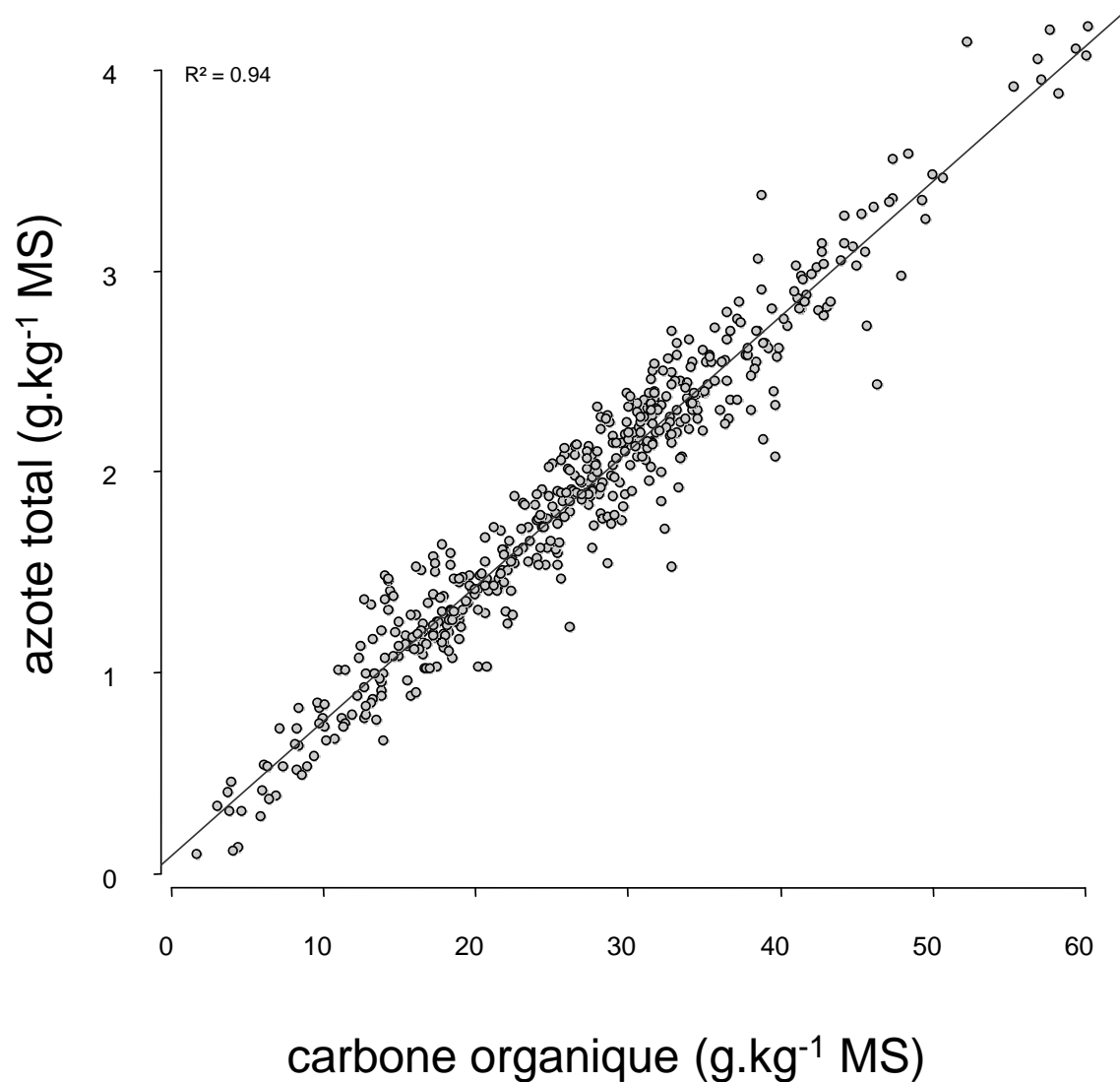
- analyse laboratoire (Cirad-Réunion)
- prédiction MIRS (LRI) : C organique, azote total et P
- prédiction NIRS (Cirad-Réunion) : pH et CEC
- cartographie des indicateurs de fertilité



Résultats



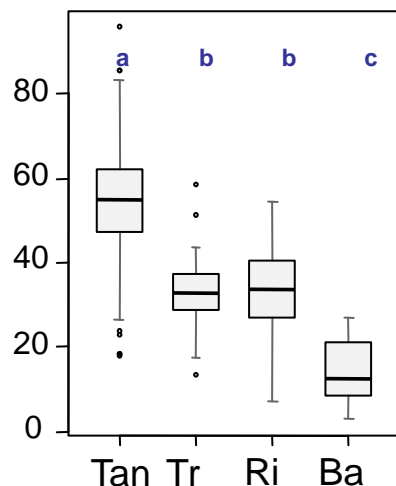
relation entre azote total et carbone organique du sol



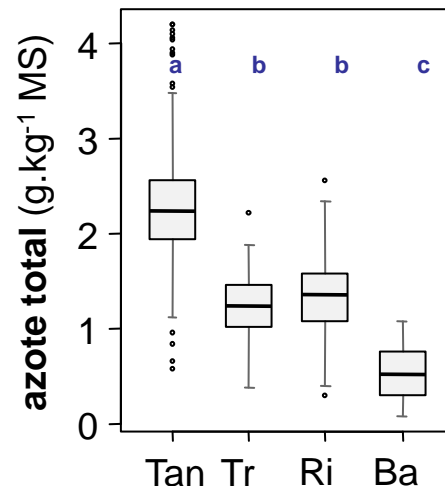
Résultats



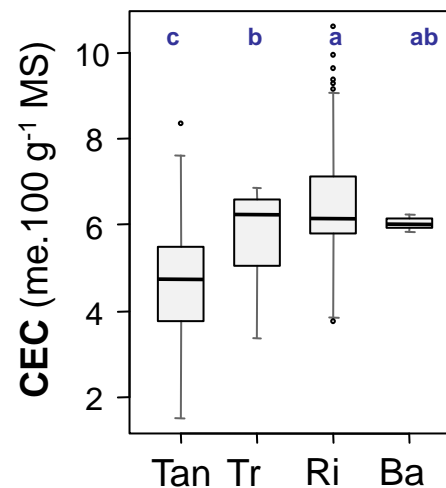
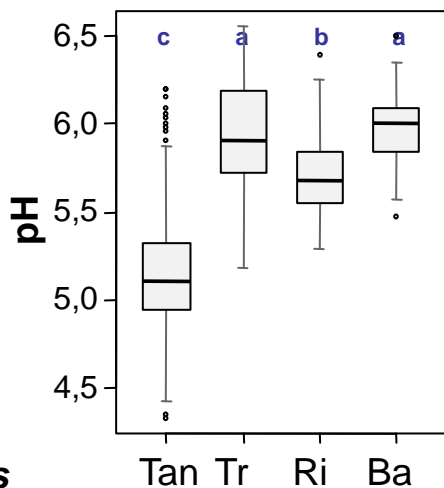
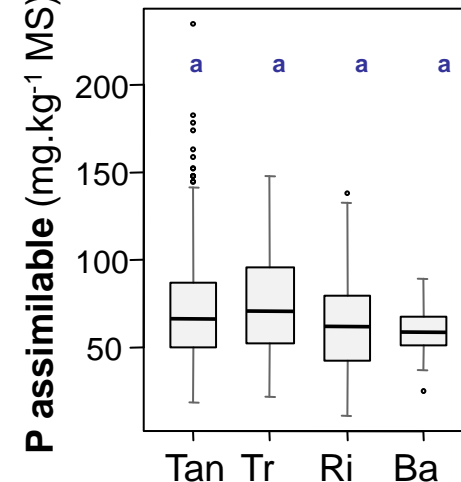
stock carbone organique
(tonne.ha⁻¹ ; 0-20 cm)



azote total (g.kg⁻¹ MS)



P assimilable (mg.kg⁻¹ MS)



Toposéquences

Tan : Tanety

Tr : Terrasse de rizière au pied de colline

Ri : Rizière de bas-fond

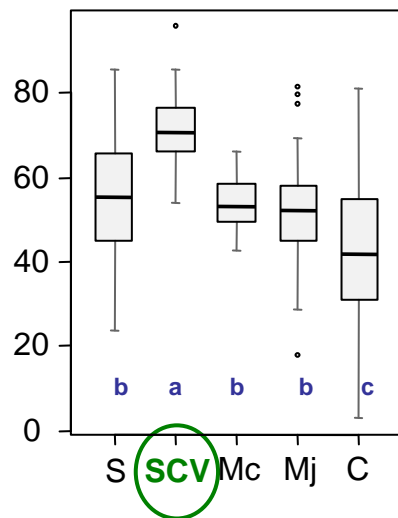
Ba : Baiboho

➡ paradoxe Tanety - bas-fond

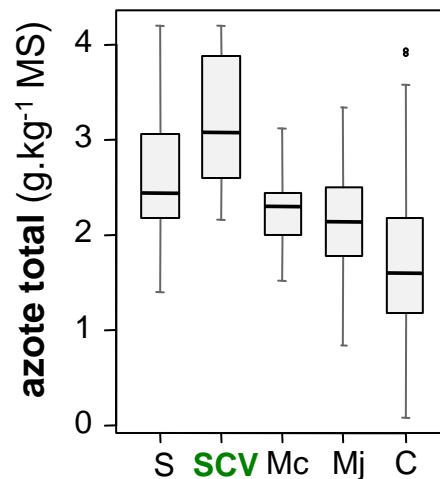
Résultats



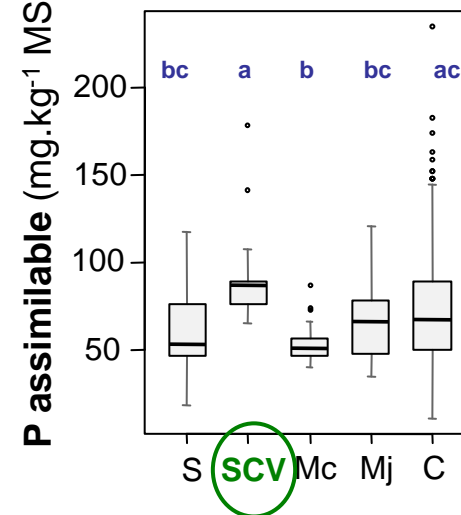
stock carbone organique
(tonne.ha⁻¹ ; 0-20 cm)



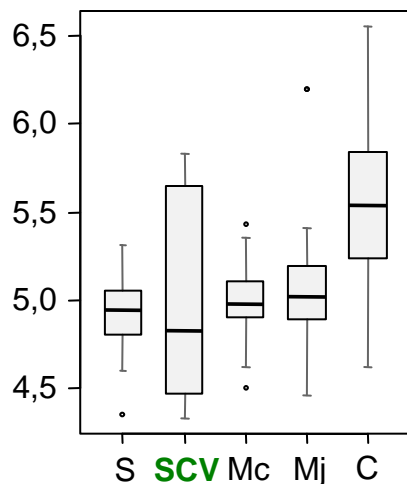
azote total (g.kg⁻¹ MS)



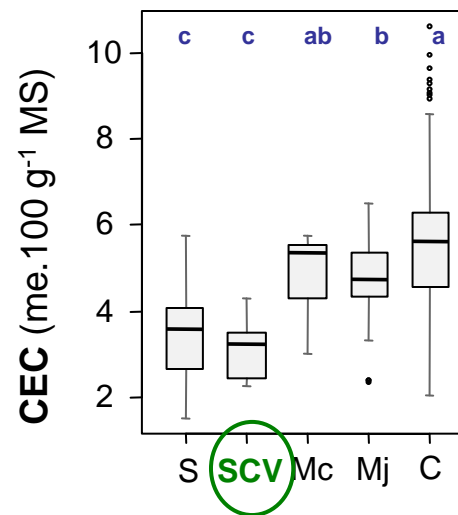
P assimilable (mg.kg⁻¹ MS)



pH



CEC (me.100 g⁻¹ MS)



ITK

S : sans labour

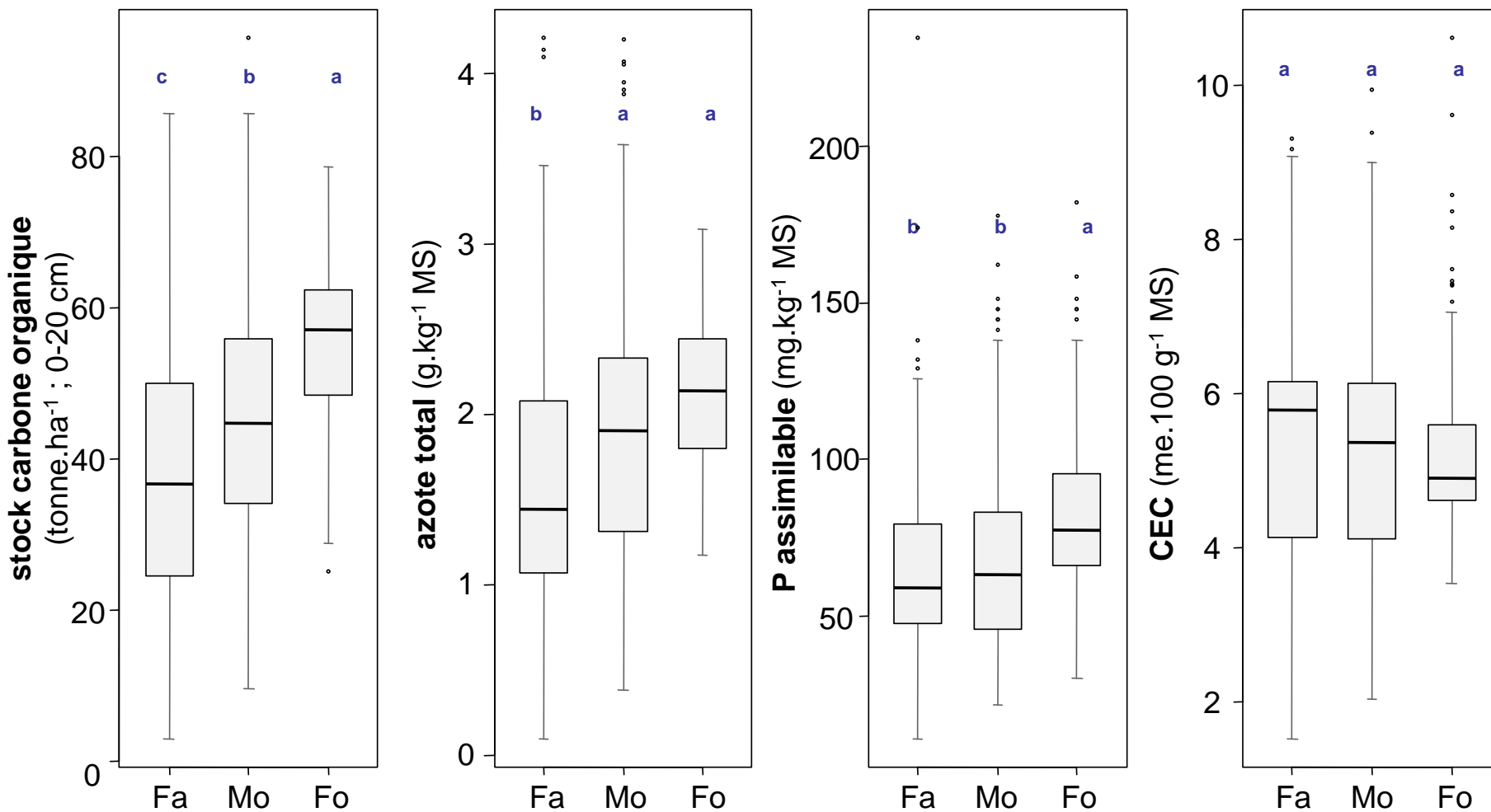
SCV : SCV

Mc : Mise en culture conventionnel d'une parcelle après bozaka / jachère / SCV

Mj : Mise en jachère / repos

C : ITK conventionnel avec labour

Résultats



Intensité de fertilisation organique

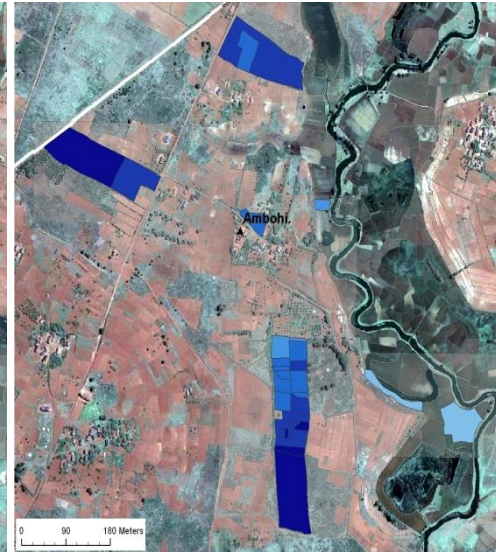
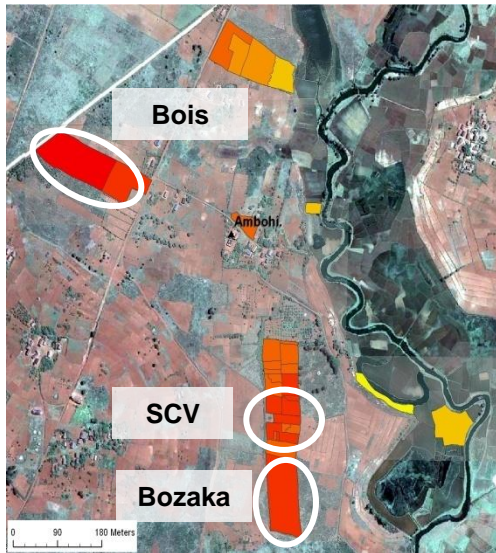
Fa : faible < 1 kg fumier sec / are / an

Mo : moyen entre 30-50 kg fumier sec / are / an

Fo : forte entre 200-300 kg fumier sec / are / an

Résultats

variabilité géographique de 3 indicateurs de la fertilité des sol : C organique, P et pH
(exploitation M. William)

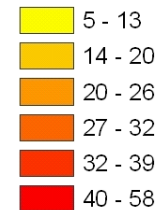


Legend

▲ Farm house

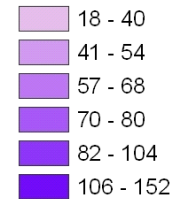
SOC content

g.kg-1 DM

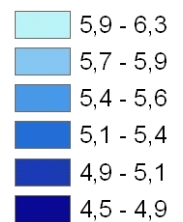


Extractable P content

mg.kg-1 DM

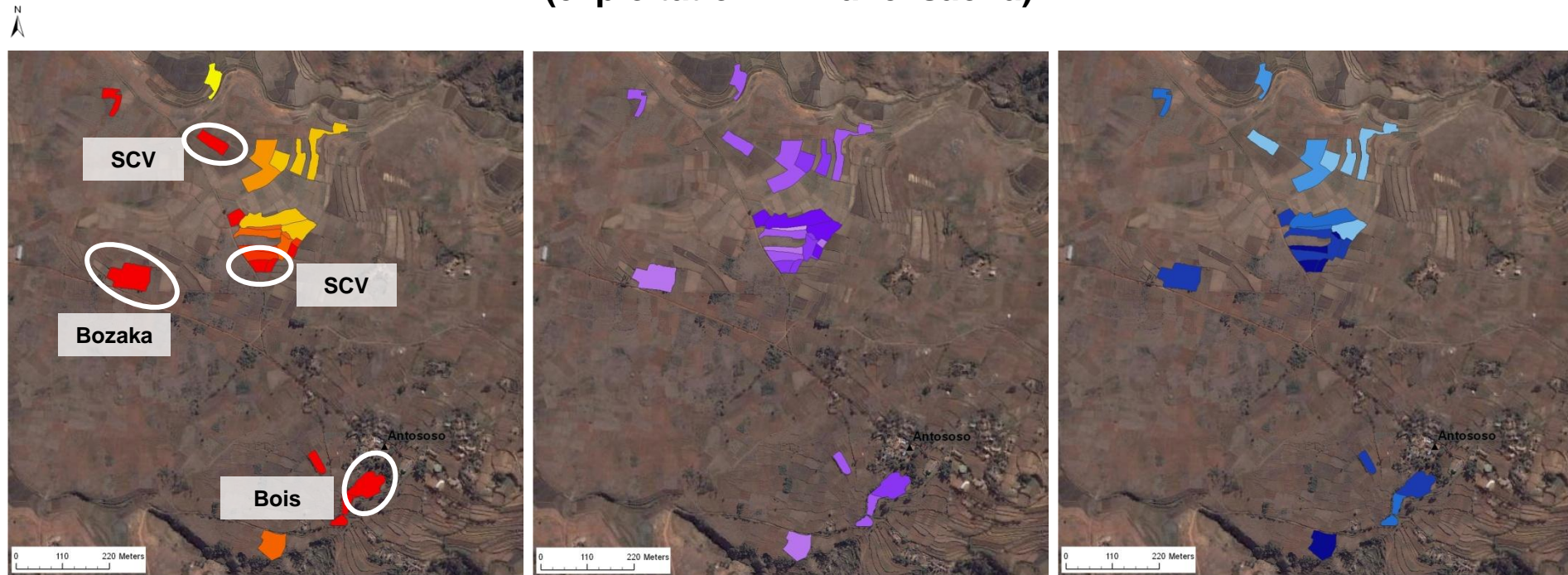


pH



Résultats

variabilité géographique de 3 indicateurs de la fertilité des sol : C organique, P et pH
(exploitation M. Rahelisaona)

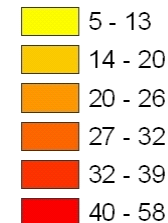


Legend

▲ Farm house

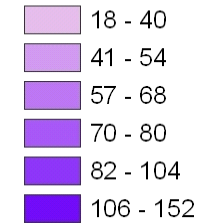
SOC content

g.kg-1 DM

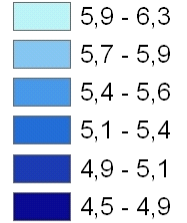


Extractable P content

mg.kg-1 DM



pH

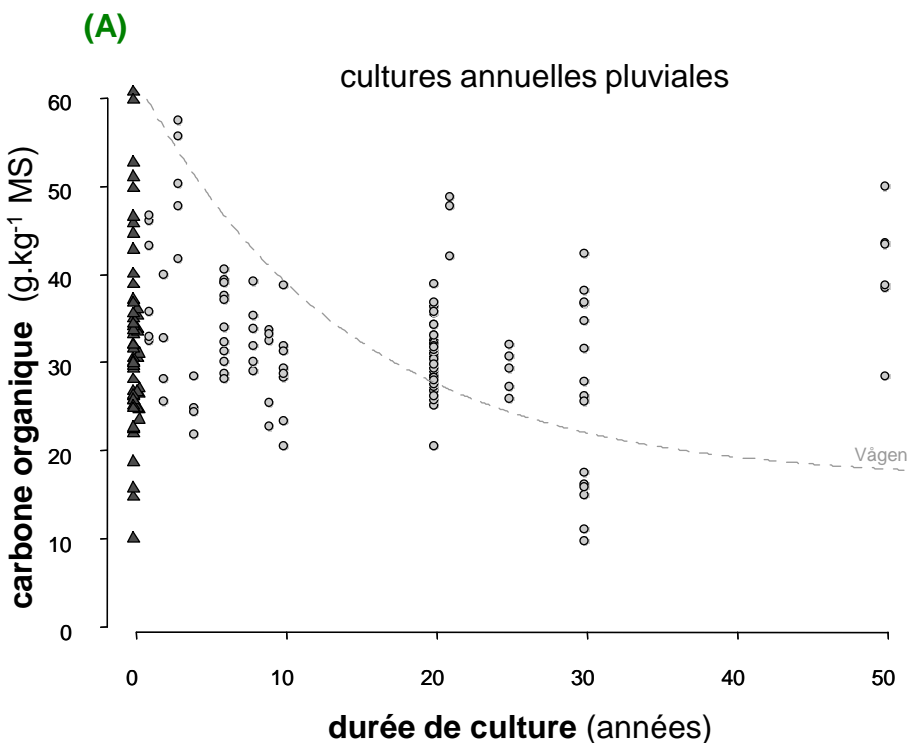


- pas de gradient fertilité
- variabilité entre parcelles voisines ← utilisation + ITK
- bas-fond : moins acides, mais moins riches en C

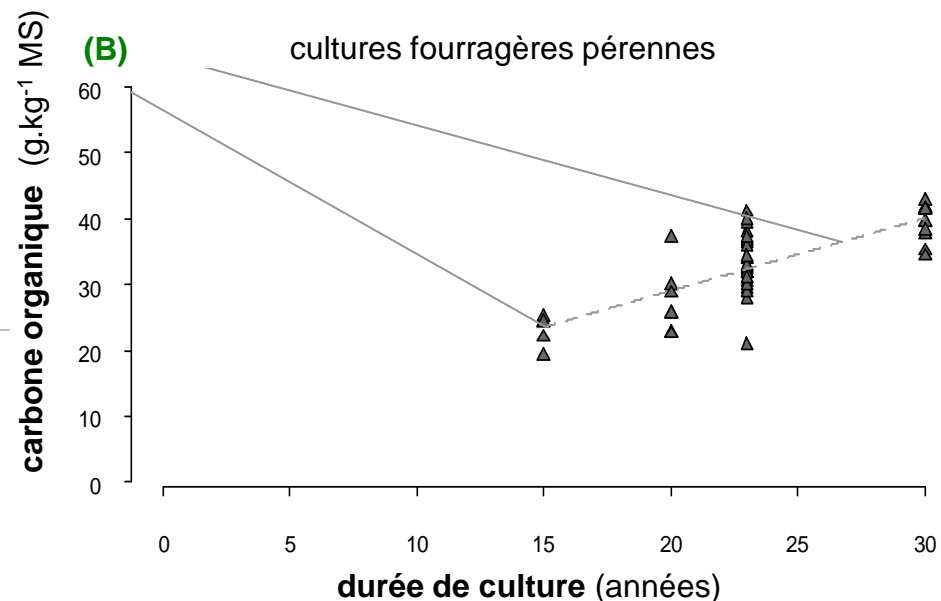
Résultats



évolution du taux de carbone organique du sol en fonction de l'âge des parcelles :



Vågen : courbe d'évolution du C calculé pour un système abattis-brûlis sur *tanety* dans HT (Vågen et al., 2006)



perte de C en culture annuelle conventionnelle ???

← fertilisation organique ?

← incertitude âge (estimation agriculteur) ?



accumulation C en culture
fourragère pérennes (kizozì)
avec FUMIER !

Résultats



prédiction du taux de carbone organique du sol à l'aide d'un modèle linéaire à effets mixtes (LME)

variables	modalités	coeffic.	SE	Wald test	C org. prédit*
Intercepte		23,5	2,0	< 0,001	23,5
<i>couche pédologique</i>	sol ferralitique jaune sur colloïde				
	sol eutrophe sur cendres volcaniques	2,5	1,8	0,157	26,0
	sol typique ferralitique rouge	- 6,5	1,7	< 0,001	17,0
<i>utilisation de la terre</i>	culture annuelle pluviale				
	non cultivée	0,6	3,2	0,848	24,1
	jachère/repos	- 6,8	4,2	0,109	16,7
	culture fourragère pérenne	0,5	2,3	0,822	24,0
	riz avec contre-saison	- 8,0	1,8	< 0,001	15,5
	riz	- 5,1	2,1	0,014	18,4
	marais	- 8,7	6,3	0,169	14,8
<i>niveau fertilisation organique</i>	faible				
	moyen	6,3	2,0	0,002	29,8
	fort	7,3	2,8	0,009	30,8
<i>ITK</i>	conventionnel (labour)				
	SCV	14,5	3,9	< 0,001	38,0
	non-labour (bozaka/bois)	12,8	3,7	< 0,001	36,3
	mise en culture après repos/SCV	3,7	2,5	0,143	27,2
	mise en repos récente	5,1	3,2	0,108	28,6
<i>parcelle</i>		5,5**	0,4	< 0,001	

* valeurs prédites calculées avec les covariables des modalités de référence = 0

** erreur standard inter-parcelle

Résultats



prédiction du taux de phosphore assimilable du sol à l'aide d'un modèle linéaire à effets mixtes (LME)

variables	modalités	coeffic.	SE	Wald test	P assi. prédit*
Intercepte		63,3	4,8	< 0,001	63,3
<i>couche pédologique</i>	sol ferralitique jaune sur colloïde				
	sol eutrophe sur cendres volcaniques	22,8	5,7	< 0,001	86,1
	sol typique ferralitique rouge	- 0,1	5,1	0,988	63,2
<i>niveau fertilisation organique</i>	faible				
	moyen	- 5,3	5,0	0,295	58,0
	fort	16,1	7,0	0,023	79,4
<i>parcelle</i>		20,5**	0,03	< 0,001	

* valeurs prédites calculées avec les covariables des modalités de référence = 0

** erreur standard inter-parcelle



Merci pour votre attention !

Modèles statistiques initiaux pour C et P

Carbone = f(couche pédo + utilisation + itk + niveau fertilisation)

↳ toutes les variables montrent un effet significatif

Phosphore = f(couche pédo + utilisation + itk + niveau fertilisation)

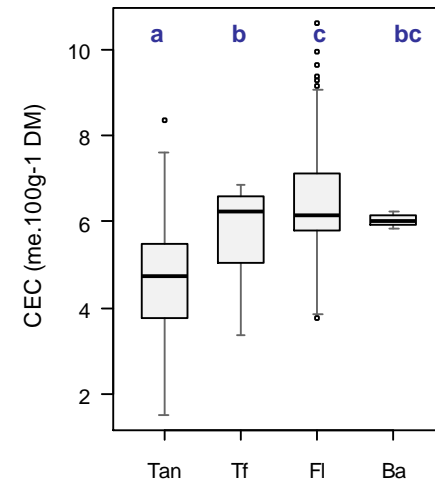
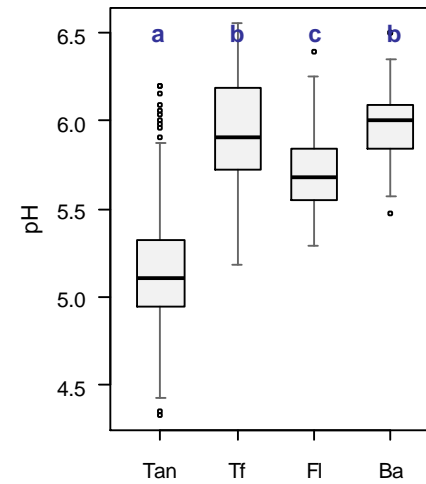
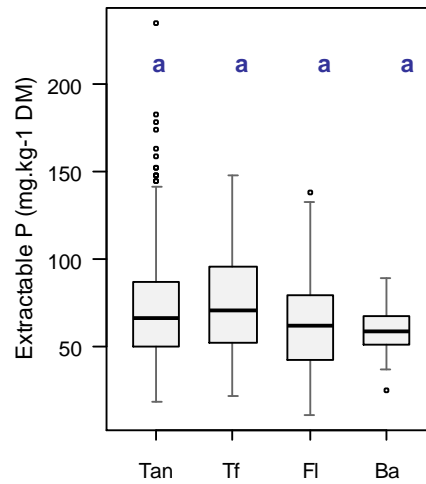
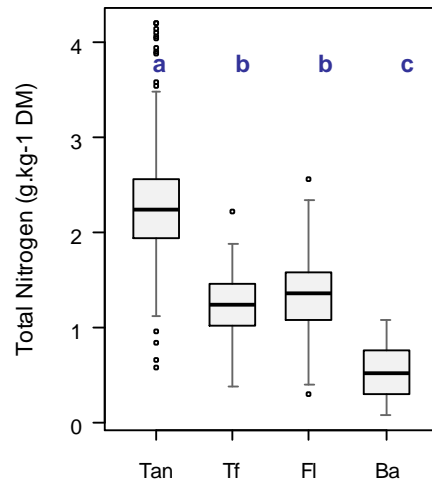
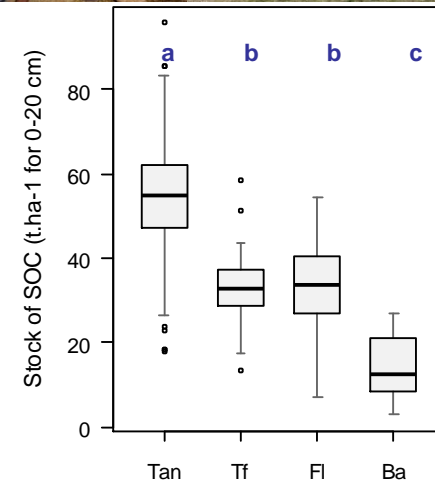
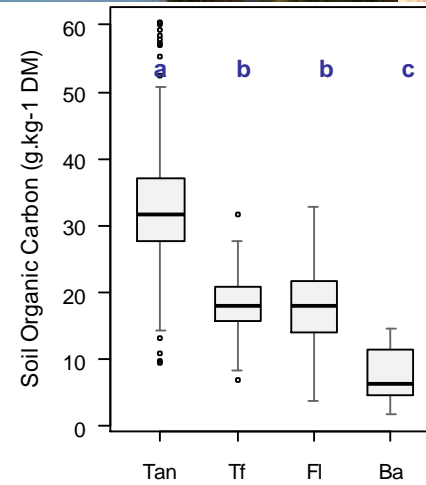
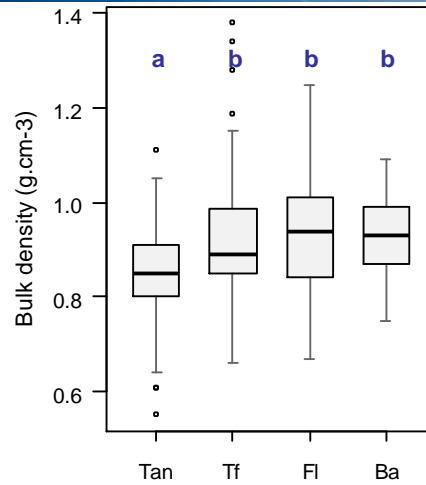
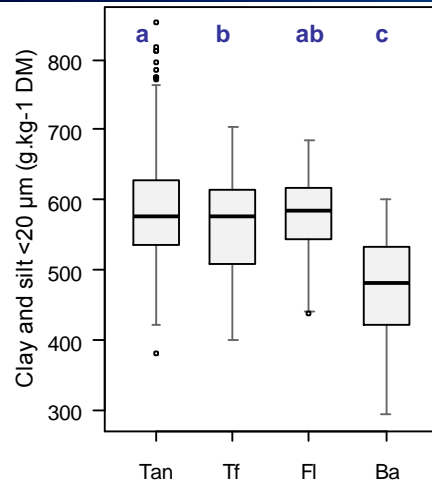
↳ seulement couche pédologique et le niveau de fertilisation montrent un effet significatif → les autres variables sont écartés du modèle final

Variables écartées dès le début :

(car considérées non pertinentes ou présentant des problèmes de corrélations ou équilibre des données -> problèmes de stabilité des modèles)

- Etat de la parcelle (« couvert ») lors de l'échantillonnage (récolté, chaumes, mh, labourée...) : considérées comme non pertinentes pour les modèles
- Topographie : corrélée avec l'utilisation de terre
- Pente : corrélé avec paysage (pente forte seulement sur tanety)
- Age : corrélé avec le paysage (toutes les rizières > 50 ans)

Results



Paysages

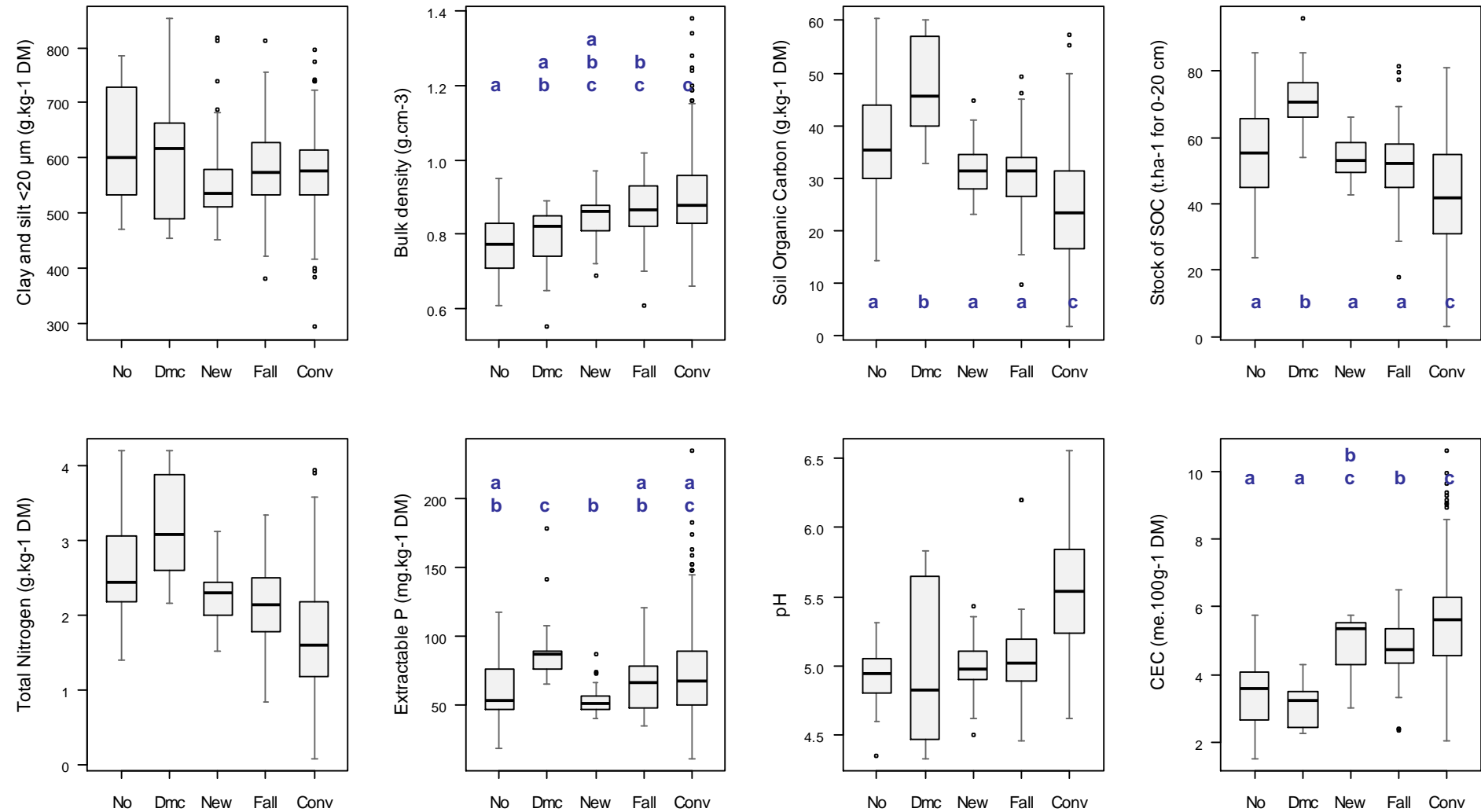
Tan : Tanety

Tf : Terraced foothill (terrasse de rizière au pied de colline)

FI : Flooded lowland (rizière de bas-fond)

Ba : Baiboho

Results



ITK

No : No-tillage (sans labour)

DMC : SCV

New : Recent cultivation after natural vegetation/fallow/DMC (mise en culture conventionnel d'une parcelle en bozaka ou en jachère ou SCV)

Fall : Recent fallow (mise en jachère ou repos)

Conv: Conventional cropping system (itk conventionnel avec labour)